



**RATKAISUJA  
KOMMUNIKAATIOTEKNIKOIDEN  
YHTEISELOON LISENSOIMATTOMILLA  
KAISTOILLA**

Ville Tapola

Ohjaaja: Heikki Karvonen

**ELEKTRONIIKAN JA TIETOLIIKENNETEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA**

**2021**

**Tapola V. (2021) Ratkaisuja kommunikaatiotekniikoiden yhteiseloon lisensoimattomilla kaistoilla.** Oulun yliopisto, Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan tutkinto-ohjelma. Kandidaatintyö, 19 s.

## **TIIVISTELMÄ**

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on tutkia samoilla lisensoimattomilla kaistoilla toimivien kommunikaatiotekniikoiden yhteiseloja ja yhteiselon aiheuttamia ongelmia kommunikaatiotekniikoiden välillä. Erityisesti 2.4 GHz sekä 5 GHz lisensoimattomilla kaistoilla toimivien järjestelmien (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Long term evolution) yhteiselo on tämän tutkimuksen kohteena. Työssä esitellään kommunikaatiotekniikoiden yhteiseloon kehitettyjä ratkaisuja ja käydään läpi niiden toimintaperiaatteita. Esimerkiksi listen before talk, almost blank subframe ja carrier sensing adaptive transmission -tekniikat ovat esittelyn kohteena. Lisäksi työssä käydään läpi lisensoitujen ja lisensoimattomien kaistojen yhteiseloja ja niiden välillä esiintyviä yhteiseloon vaikuttavia ongelmia.

Työn lopputuloksena todetaan, että työssä esitelty tekniikat yhteiselon parantamiseksi ovat aina kompromisseja eri kommunikaatiotekniikoiden välillä. Osa kokonaiskattavuudesta tai nopeudesta uhrataan sujuvan yhteiselon saavuttamiseksi.

**Avainsanat:** yhteiselo, lisensoimattomat kaistat, kommunikaatiotekniikat.

**Tapola V. (2021) Solutions for coexistence of communication methods on unlicensed bands.** University of Oulu, faculty of information technology and electrical engineering. Bachelor's thesis, 19 s.

## **ABSTRACT**

The goal of this bachelor's thesis is to study different coexistence methods and problems for communication systems operating in 2.4 GHz and 5 GHz unlicensed bands (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Long term evolution). Solutions created for coexistence are introduced and their basic behavior is reviewed. For example, almost blank subframe, listen before talk and carrier sensing adaptive transmission methods are studied. Also, coexistence and problems between licensed and unlicensed bands are reviewed in this thesis.

Conclusions of this thesis is that in every method created for coexistence problems, are compromises. Some of the capacity or speed are compromised to achieve a coexistence solution.

**Key words:** coexistence, unlicensed bands, communication methods.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYS .....	4
1. JOHDANTO .....	6
2. YHTEISELOON KEHITETTYJÄ RATKAISUJA.....	8
2.1. Almost blank subframe (ABS) .....	8
2.2. Listen before talk .....	9
2.3. Carrier sensing adaptive transmission (CSAT) .....	9
2.4. Guide busy tone (GBT) .....	11
2.5. WizBee .....	11
2.6. BLE ja IEEE 802.15.4 yhteiselo .....	12
2.7. Jaettu 5G LAA koordinointi .....	14
2.8. Yhteenveto kehitetyistä ratkaisuista.....	16
3. YHTEENVETO.....	17
4. LÄHTEET .....	18

## LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

3GPP	3rd generation partnership project
ABS	Almost blank subframe
AP	Access point
ASP	Active sensing phase
BLE	Blue tooth low energy
CCA	Clear channel assessment
CE	Connection event
CS	Carrier sensing
CSAT	Carrier sensing adaptive transmission
CSMA	Carrier sense multiple access
CSMC	Central spectrum management controller
DC	Duty cycle
DL	Downlink
GBT	Guide busy tone
IoT	Internet of things
ISM	Industrial, scientific and medical
LAA	Licensed assisted access
LBT	Listen before talk
LPN	Low power network
LTE	Long term evolution
MAC	Medium access control
QoS	Quality of service
RAC	Radio access cluster
RX	Vastaanotto
SAT	Soft airtime
TX	Lähetys
UE	User equipment
UL	Uplink
WLAN	Wireless local area network

## 1. JOHDANTO

Älykkäiden laitteiden määrä on kasvanut vuosittain 70 % - 200 % ja suurin osa näistä laitteista käyttää 2.4 GHz taajuusalueella toimivia kommunikaatiomenetelmiä, kuten Wi-Fi, Long term evolution (LTE) ja Bluetooth [1][2]. Laitteiden lisääntyvä määrä, sekä kovaa vauhtia tuleva asioiden internet (internet of things (IoT)) [3] ruuhkauttaa taajuuskaistoja etenkin urbaaneilla alueilla, joissa tukiasemia (access point, (AP)) on reilusti tiheällä alueella. Kaistojen ruuhkautuminen aiheuttaa häiriöitä eri kommunikaatiomenetelmien välillä huonontaa palvelun laatua (quality of service (QoS)) ja suorituskkyä. Tämän takia tarvitaan ratkaisuja kommunikaatiomenetelmien yhteiseloön samoilla taajuuskaistoilla. Erityisen tärkeää kommunikaatiomenetelmien saumaton yhteiselo on sairaalaympäristöissä, joissa taajuuskaistan liiallisella ruuhkautumisella voi olla kohtalokkaita seurauksia. [4]

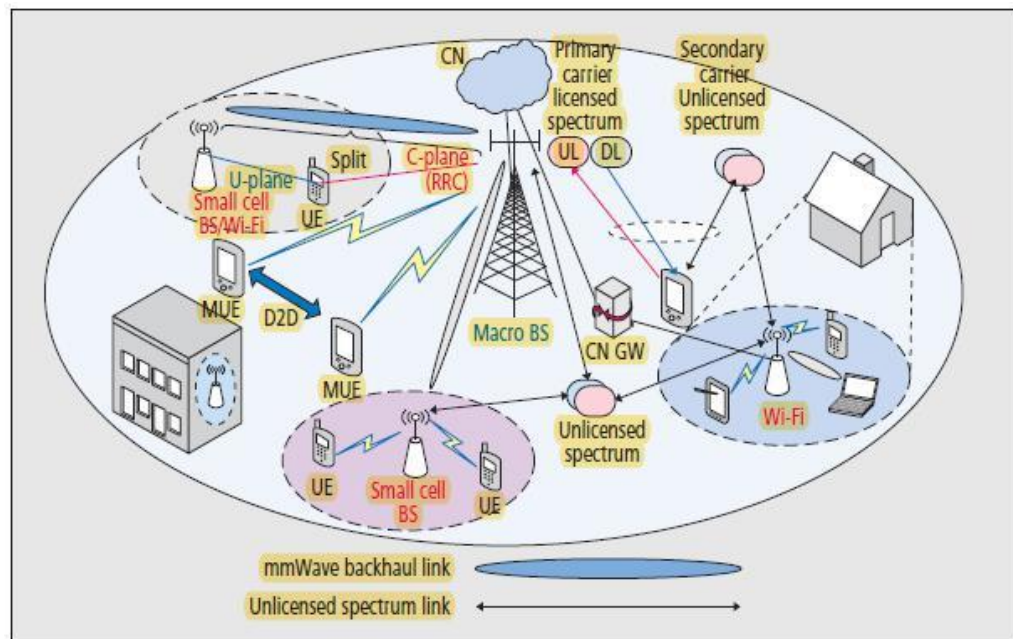
Matkapuhelinverkkojen ruuhkautuminen sekä niiden rajallinen määrä on kääntänyt 3GPP (3rd Generation partnership project) katseet kohti lisensoimattomia taajuuskaistoja LTE:n kehityksessä. Etenkin 2.4 GHz ja 5 GHz alueet, [5] jotka toimivat matkapuhelinverkkojen suuren kantaman, makrosolun (macrocell) alla pienempinä soluina (small cell), ovat LTE-kehityksen mielenkiinnon kohteena. Kyseiset solut on havainnollistettu Kuvassa 1 [1]. Esimerkkinä kyseisistä 3GPP:n LTE tekniikoista on lisensoimaton LTE (unlicensed long term evolution, U-LTE), toiselta nimeltään long term evolution-license assisted access (LTE-LAA).

Wi-Fi, sekä IoT-järjestelmien suosimat ZigBee ja Bluetooth Low Energy (BLE), ovat pienten solujen kommunikaatiomenetelmiä, jotka toimivat lisensoimattomilla kaistoilla. ZigBee ja Bluetooth ovat lyhyen kantaman kommunikaatiomenetelmiä, joiden lähetysnopeus on suhteellisen hidas verrattuna Wi-Fi (IEEE 802.11) lähetysnopeuteen [6][7]. Edellä mainitut menetelmän kuuluvat niin sanotulle ISM-kaistalle, eli teolliselle, tieteelliselle ja lääketieteelliselle kaistalle. [8]

Matkapuhelinverkot, eli makrosolut, sekä pienet solut eivät tällä hetkellä toimi keskenään yhteistyössä, vaikka tämä olisi tarpeellista matkapuhelinkaistojen ruuhkautumisen ehkäisemiseksi. Matkapuhelinverkkojen ja pienten solujen tulisi toimia yhdessä saumattomasti, ilman että ne häiritsevät toisiaan liikaa ja ilman, että niiden välillä tapahtuu häviöitä tiedonsiirrossa. Käyttäjän hyvä palvelun laatu on

taattava. Esimerkiksi tutkimuksessa [9] todetaan, että Wi-Fi:n suorituskyky laskee merkittävästi LTE-LAA -liikenteen alla ilman minkäänlaista yhteiseloön kehitettyä ratkaisua.

Kyseisten mikro- ja makrosolujen välillä esiintyvien häiriöiden lisäksi häiriöitä esiintyy myös lisensoimattomilla kaistoilla toimivien kommunikaatiomenetelmien välillä. Kappaleessa 2 esitellään ratkaisuja niin edellä mainittujen häiriöiden vähentämiseen, kuin kommunikaatiomenetelmien välisen yhteiselon parantamiseen.



Kuva 1. Havainnekuva pienistä soluista makrosolun alla.

## 2. YHTEISELOON KEHITETTYJÄ RATKAISUJA

Lisensioimattomien ja lisensoitujen kaistojen väliseen yhteiselo on kehitetty erilaisia menetelmiä, joita käydään läpi tässä kappaleessa. Tarkastelussa on esimerkiksi lisensoitujen cellular tekniikoiden yhteiseloon kehitetyt almost blank subframe (ABS), listen before talk (LBT), sekä carrier sensing adaptive transmission (CSAT). Lisensioimattomien kaistojen yhteiseloon kehitetyistä menetelmistä esitellään WizBee, joka on kehitetty ZigBee:n ja Wi-Fi:n yhteiselo.

### 2.1. Almost blank subframe (ABS)

Makrosolujen, tässä tapauksessa long term evolution advanced (LTE-A), pienten solujen sekä Wi-Fi-tukiasemien yhteiselo samalla lisensioimattomalla taajuuskaistalla voidaan mahdollistaa almost blank subframe tekniikan avulla. ABS:t ovat alikehyksiä (subframe), joiden lähetysteho tai sisältöä on rajoitettu. Häiriöiden estämiseksi samojen kommunikaatiomenetelmien solujen välillä ABS otetaan käyttöön Evolved Node B (eNB):n välillä tapahtuvien koordinoitaviestien avulla. Eri kommunikaatiomenetelmien solujen välisten häiriöiden estämiseksi ABS:n avulla, LTE makrosolu antaa tiettyjä alikehyksiä Wi-Fi:n käytettäväksi välttääkseen näiden välisiä häiriöitä [10]. ABS tiedonsiirron intervalli voidaan mukauttaa aikariippuvaiseen häiriöympäristöön. [1]

ABS lähetetään laitteiden välillä satunnaisesti ilman koordinoitua, jolloin Wi-Fi pystyy havaitsemaan kanavan vapauden. Samoin LTE-LAA lähetys voidaan toteuttaa ilman koordinoitua satunnaisen ABS:n avulla. Tämä kuitenkin huonontaa LTE-LAA:n suorituskykyä, jonka seurauksena LTE-LAA verkon kantavuus laskee. Tutkimuksessa [1] todetaan, että 30 % ABS LTE-LAA:ssa parantaa Wi-Fi:n kattavuutta huomattavasti suuren LTE-LAA liikenteen alla samalla, kun LTE-LAA solujen kapasiteetti laski 10-24 Mb/s. Satunnaisesti lähetetty ABS mahdollistaa Wi-Fi:n ja LTE-LAA:n yhteiselon, kuitenkin huonontaa näiden kokonaiskapasiteettia. [1]



## 2.2. Listen before talk

Listen before talk, eli kuuntele ennen lähetystä -tekniikassa on ideana, että lähetin ensin kuuntelee kanavaa, jonka jälkeen tiedonsiirto tapahtuu vain, kun kuunneltu kanava on tyhjä. LBT-mallia käytetään esimerkiksi Wi-Fi:n ja LTE:n välillä mahdollistamaan näiden yhteiselo samalla lisensoimattomalla kaistalla. [10]

LBT prosessi koostuu kahdesta osasta: tyhjän kanavan arvioinnista (clear channel assessment, CCA), sekä perääntymisvaiheesta (backoff stage). Tyhjän kanavan arviointi osassa lähetin kuuntelee kanavaa. Mikäli kuunneltu kanava pysyy tyhjänä jatkuvasti, siirtyy lähetin perääntymisvaiheeseen, jonka jälkeen tiedonsiirto tapahtuu. Mikäli kuunneltu kanava ei pysy tyhjänä, lähetin jatkaa kanavan kuuntelua kanavan vapautumiseen saakka, joko jatkuvasti tai lyhyemmissä kuunteluintervalleissa sovellutuksesta riippuen. Lähetin palaa takaisin tyhjän kanavan kuuntelutilaan, mikäli kanava ruuhkautuu perääntymisvaiheen aikana. [11]

IEEE 802.11-standardin mukaan CCA toimii joko energiaan perustuen (energy-based) tai johdantoon perustuen (preamble-based). Energiaperusteisen CCA:n lähetin mittaa vastaanotetun signaalin tehoa. Kyseinen tehonmittaus operaatio on epäkoherentti tapahtuma, jolloin lähettimen ei tarvitse tuntea vastaanotetun signaalin muotoa tai laatua. Johdantoon perustuvan CCA:n tapauksessa lähetys alkaa kiinteällä johdannolla. Johdantoon perustuva CCA saadaan aikaan ristikorrelaatiomoduulin avulla. [12]

LBT-laitteet voidaan jakaa kahteen kategoriaan: kehyksiin perustuviin laitteisiin (frame-based equipment, FBE) ja kuormaan perustuviin laitteisiin (load-based equipment, LBE). FBE-laitteiden lähetyksen (TX) ja vastaanoton (RX) rakenteessa on kiinteä ajoitus (fixed timing). Vastaavasti LBE-laitteiden RX:n ja TX:n rakennetta ohjaa kysyntä (demand-driven structure) kiinteän ajoituksen sijasta.

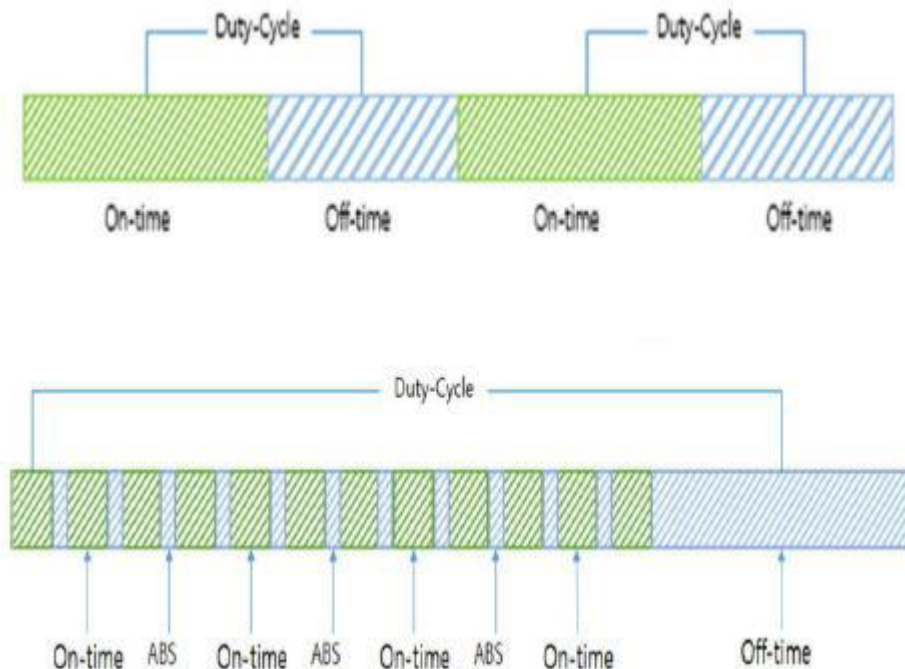
## 2.3. Carrier sensing adaptive transmission (CSAT)

Carrier sensing adaptive transmission perustuu keskitettyyn aikataulutukseen (duty cycle, DC), joka löytyy myös LTE:n rakenteesta, sekä alle GHz-taajuusalueen lisensoimattomilta kaistoilta. DC kertoo ajanjakson, jonka aikana laite käyttää kaistaa tiedon lähettämiseen sekä vastaanottoon ja milloin kaista on vapaa muiden menetelmien käytettäväksi. CSAT toimii suoraan 3GPP Rel. 10/11 kanssa ilman

muutoksia LTE-spesifikaatioihin, toisin kuin LBT, jota varten LTE:n kanavarakennetta on muokattava. [13][14]

CSAT:n alla olevien kanavien lähetysaika jaetaan jaksollisiin LTE:n päällä/pois -jaksoihin, joita LTE ja Wi-Fi käyttävät kanavalle pääsyyn. Päällä -jakson aikana LTE käyttää kanavaa, kun vastaavasti pois -jakson aikana Wi-Fi käyttää kyseistä kanavaa LTE:n pysyessä pois kanavalta. Kun LTE-kanava on päällä-tilassa, jaetaan kanavan kaistanleveys alikanaviksi. LTE:n optimaalinen päällä/pois -jako tapahtuu eNB:ssä, joka perustuu eNB:n havaitsemaan Wi-Fi:n kaistan kuormitukseen. Wi-Fi käyttää kyseisiä vapaiksi jääneitä ajanjaksona omaan lähetykseensä. [13]

Päällä/pois jaon tulee tapahtua yhden DC:n aikana parhaan tuloksen aikaansaamiseksi. Yksinkertainen ja halpa tapa päällä-/pois -jaon toteuttamiseksi on selvittää Wi-Fi-tukiasemien määrä LTE:n toiminta-alueella. Yhden päällä/pois -jakson aika on yleensä joitain satoja millisekunteja. Pitkä päällä-jakso lisää Wi-Fi:n viivettä. ABS ja CSAT yhteistyöllä tätä viivettä voidaan pienentää mahdollistamalla Wi-Fi-lähetys hetkellisesti LTE:n päällä-jaksojen aikana. Kuvassa 2 on havainnollistettuna LBT-tekniikan toiminta. [14]



Kuva 2. ABS toiminta LTE:n päällä-jakson aikana.

## 2.4. Guide busy tone (GBT)

Guide busy tone (GBT) -tekniikka generoi lähettimessä kiireellisen viestin, joka vaihtaa Wi-Fi kanavan tilan tyhjästä varatuksi varaten kyseisen taajuuskaistan käyttöön itselleen aiheuttamatta suuria häiriöitä muiden laitteiden välillä. GBT-menetelmää käyttävä radio kuitenkin saattaa kokea häiriöitä, sillä GBT käyttää samaa kaistaa sekä lähetykseen, että vastaanottoon. Tämän takia GBT -menetelmä tarvitsee busy tone cancellation (BTC) -mekanismin poistaakseen itse itselleen aiheuttamaansa häiriötä.

Tutkimuksen [15] BTC koostuu QHx220 häiriönpoistajasta, sekä polarisaatioantenniryhmästä. Kyseisen rakenteen avulla BTC pystyy tasoittamaan suurimman osan itseaiheutetuista häiriöistään. GBT -menetelmä varustettuna BTC:llä voi sekä lähettää, että vastaanottaa signaaleja samaan aikaan käyttäen full-duplex tekniikkaa. [15]

Tutkimuksessa [15] todetaan, että GBT-menetelmän avulla Wi-Fi-liikenteen alla toimivat ZigBeet pystyvät lähettämään, sekä vastaanottamaan 100 % sanomapaketeistaan toimiessaan pelkästään silloin, kun Wi-Fi ei ole varannut kanavaa käyttöönsä. Samaan tulokseen he pääsivät myös useiden ZigBee solmujen välillä. Haittapuolena GBT-menetelmässä on BTC:n rakenteen monimutkaisuus, sekä GBT-menetelmän suuri tarve teholle. ZigBeen ja Wi-Fi:n välinen lähetystehojen ero on saatava mahdollisimman pieneksi onnistuneen kommunikaation takaamiseksi, jolloin ZigBee joutuu nostamaan omaa lähetystehoaan päästäkseen lähelle Wi-Fi:n lähetystehoa. [15]

## 2.5. WizBee

ZigBee käyttää samaa 2.4 GHz kaistaa, kuin Wi-Fi. Etenkin urbaaneilla alueilla, joissa Wi-Fi ja ZigBee toimivat samassa ympäristössä lähellä toisiaan, kiireinen Wi-Fi-liikenne häiritsee huomattavasti ZigBee:n toimintaa. Kyseisen ZigBee:n ja Wi-Fi:n yhteiselo-ongelman ratkaisemiseen on ehdotettu WizBee:ksi nimettyä kommunikaatiomenetelmää. [16]

WizBee:n toimintaa ajaa se, että Wi-Fi-signaalit ovat paljon ZigBee:n signaaleja voimakkaampia, jolloin voidaan soveltaa häiriöidenperuuttamistekniikkaa signaalien yhteentörmäyksen yhteydessä. Jotta ZigBee saa takaisin lähettämänsä informaation

Wi-Fi:n ja ZigBeen yhteentörmäyksen aikana, WizBee aluksi ottaa vastaan Wi-Fi-paketin, purkaa Wi-Fi:n häiriön ja jatkaa ZigBee-paketin dekoddaamiseen. Toisin sanoen WizBee lisää Wi-Fi:n häiriönkäsittelykomponentin, ZigBeen rakenteeseen, jonka avulla voidaan mahdollistaa Wi-Fi:n ja ZigBeen yhteiselo samalla taajuusalueella. WizBee tukee useidenkin ZigBee-järjestelmien yhteiseloja Wi-Fi:n kanssa. [16]

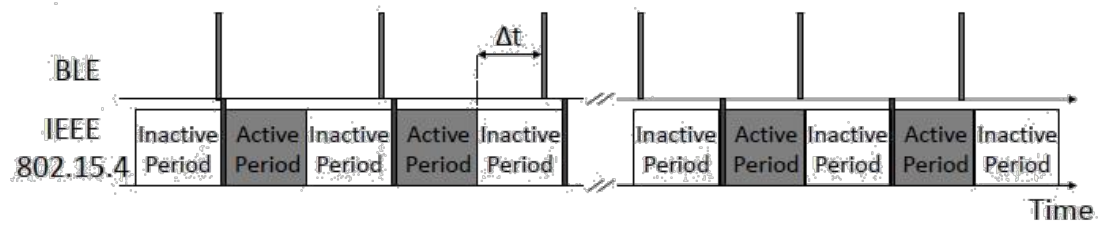
## 2.6. BLE ja IEEE 802.15.4 yhteiselo

Bluetooth low energy ja IEEE 802.15.4, yleisemmin ZigBee, välinen yhteiselo voidaan toteuttaa aikatasossa hyödyntämällä keskitettyä aikataulutusta (DC). Aikataason yhteiselo voidaan toteuttaa ilman muutoksia BLE tai IEEE 802.15.4 standardeihin, sillä aikataulutus löytyy molemmista tekniikoista.

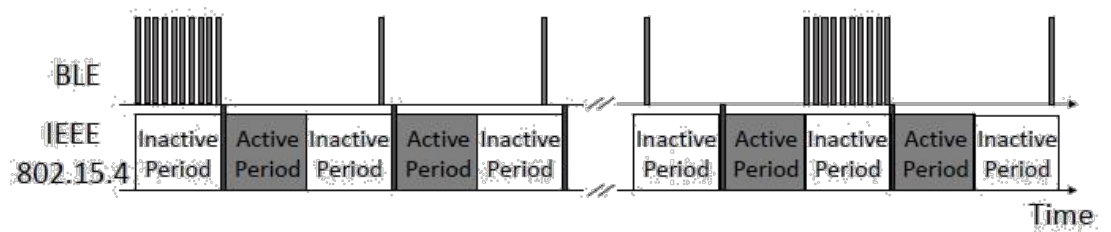
Yhteiselon saavuttamiseksi täytyy BLE ja IEEE 802.15.4 laitteiden lähetyksaikatauluttaa siten, että toinen laite lähettää toisen ollessa kiinni. Toisin sanoen joko BLE tai IEEE 802.15.4 toiminta on mukautettava toisen verkon lähetyksen intervallien mukaisesti. [17]

BLE-verkon ollessa mukautuva verkko, on BLE:n yhteysjakso (CE) asetettava IEEE 802.15.4:n superkehyksien mukaan. Tämä toteutetaan BLE:n yhteyden päivitysmenettelyn mukaan, joka löytyy BLE:n standardeista [9]. BLE on järjestettävä uudelleen tietyin ajanjakson välien, sillä BLE:n ja IEEE 802.15.4:n aktiiviset alueet liikkuvat toisiinsa nähden ajan kuluessa. BLE on järjestettävä uudelleen, mikäli seuraava arvioitu aktiivisten alueiden päällekkäisyys on 10 jakson päässä, tai lähempänä. Aktiivisten alueiden päällekkäisyys pystytään arvioimaan käyttämällä hyväksi BLE:n CE:n ja IEEE 802.15.4:n aktiivisen alueen aikaeroa. [17]

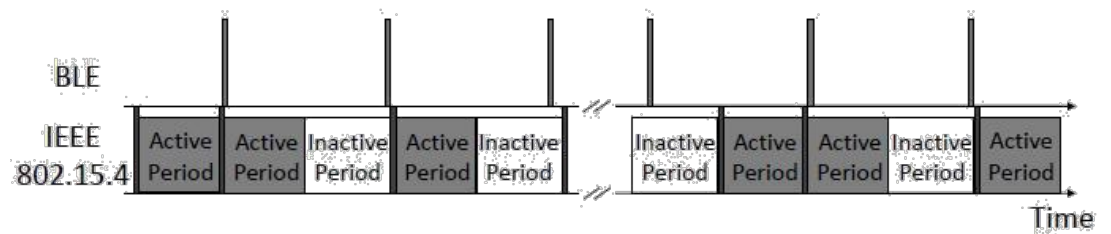
IEEE 802.15.4 ollessa mukautuva verkko, hyödynnetään IEEE 802.15.4:n majakkaintervalliväliä yhteentörmäyksien ehkäisemiseksi. IEEE 802.15.4 järjestää uudelleen oman lähetyksensä, mikäli seuraavan superkehysten on arvioitu menevän päällekkäin BLE:n CE:n kanssa. Päällekkäisyydet arvioidaan samaan tapaan, kuin edellä mainitussa tilanteessa, jossa BLE on mukautuva verkko. IEEE 802.15.4 ollessa mukautuva verkko, joitain päällekkäisyyksiä tapahtuu. Kuvassa 3 [17] on havainnollistettu BLE ja IEEE 802.15.4:n välistä aikataulutusta.



(a) Transmissions without realignment



(b) Realignment using BLE adaptation

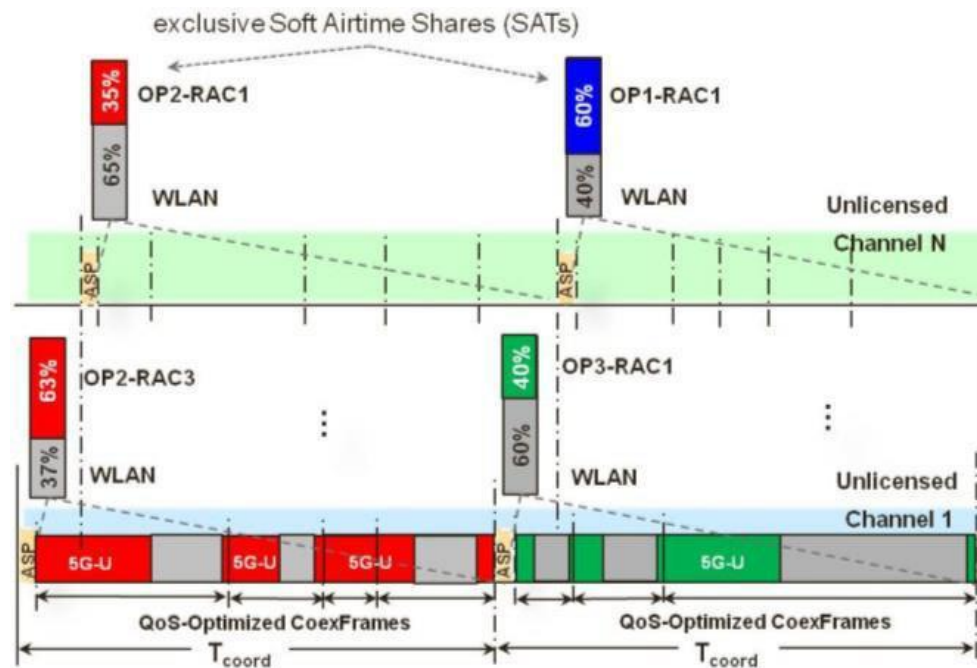


(c) Realignment using IEEE 802.15.4 adaptation

Kuva 3. BLE ja IEEE 802.15.4 aikataulus.

## 2.7. Jaettu 5G LAA koordinointi

Tutkimuksessa [18] esitellään uusi medium access control (MAC) -ratkaisu häiriöiden koordinoimiseen, joka tarjoaa tuleville 5G-verkoille helpon ja tehokkaan pääsyn lisensoimattomille kaistoille aiheuttamatta häiriöitä ja säilyttäen silti korkean palvelun laadun. Tämä tapahtuu pitkässä aikaskaalauksessa kanavan valintaa ja taajuustason jakoa koordinoimalla käyttäen carrier sense multiple access (CSMA) kaltaista protokollaa ryhmitetyissä 5G-verkon ryppäissä (radio access cluster (RAC)). Pienemmässä aikaskaalauksessa aikataason yhteiselo jaettujen 5G-ryppäiden ja Wi-Fi:n välillä voidaan optimoida muuttamalla lähetysajan jakamista, joka on havainnollistettu Kuvassa 4. [18]



Kuva 4. Soft airtime share (SAT).

Kyseinen 5G MAC menetelmä jakautuu kolmeen eri aikaskaalaan: havaintokehykseen, joka voi kestää minuutteja; koordinaatiokehykseen, joka kestää joitain satoja millisekunteja; sekä yhteiselokehykseen, jonka kesto on joitain millisekunteja. Jaotettu 5G RAC käyttää yksinomasta soft airtime share (SAT) -menetelmää mahdollistaakseen yhteiselonsa langattoman paikallisverkon (WLAN)

kanssa samalla kanavalla ilman häiriöitä muilta 5G-verkoilta koordinaatiokehyksen ajan.

Pienitehoisten verkkojen (LPN) passiivinen tunnistaminen (carrier sensing, CS) tapahtuu kaikissa LPN:ssä. LPN tunnistaa viereisillä kaistoilla toimivien WLAN-solmujen kaistan käytön, jonka avulla se identifioi mahdolliset estetyt Wi-Fi-solmut, sekä niiden käyttämät lisensoimattomat kaistat. Tunnistautuminen tehdään jokaisen koordinaatiokehyksen aikana. Havaintokehyksen aikana tunnistautumisesta saatua informaatiota käytetään ruuhkaisten kaistojen välttämiseen. Tunnistautuminen voi tapahtua myös käyttäjän laitteessa (user equipment, UE), jolloin UE:n kattavuutta käytetään ympäröivien tukiasemien tehon arvioimiseen lisensoimattomilla kaistoilla. [18]

Kanavaa valittaessa keskeinen spektrin ohjain (central spectrum management control, CSMC) yhdistää kanavien CS-informaation takaisinyhdistetystä (backhaul-connected) LPN:sta ja UE:sta jokaisen koordinaatiokehyksen aikana. Tarkoituksena on maksimoida UE:n LTE-nopeus koordinaatiokehyksessä. LPN ryhmitys, tai RAC yhdistäminen tapahtuu koordinaatiokehyksen lopussa. CSMC purkaa kaikki RAC:t, ja suorittaa kanavan valinta-algoritmin havaittujen LPN:n pohjalta. Tämän pohjalta CSMC yhdistää RAC:t algoritmin avulla valitulla kanavalla. [18]

Koordinoinnin kilpailutus (contend-to-coordinate, C2C) tapahtuu CSMA-tyylisen protokollan avulla, jonka tarkoituksena on koordinoita taajuustasoa. Käyttämällä C2C, 5G RAC:t kilpailevat ainoastaan lyhyiden aktiivisten havainnointivaiheiden (active sensing phase, ASP) aikana jokaisen koordinaatiokehyksen alussa. Toimenpiteen tarkoituksena on lähettää koordinaatiomerkkiviesti informaation havainnoimisen, vaihtamisen ja aikataulutuksen mahdollistamiseksi. [18]

Kun ASP on suoritettu halutulla kanavalla, RAC pyrkii saavuttamaan tavoitellun SAT:n LAA:n luomien häiriöiden alla tavoitteenaan saada mahdollisimman korkea QoS yhteiselossa WLAN rinnalla. Mikäli LBT ei ole käytössä, RAC pystyy suoraan varaamaan ja lähettämään viestinsä jokaisen yhteiselokehyksen aikana. Mikäli LBT on käytössä, kuormaan perustuvat laitteet pääsevät käsiksi tietoliikennekanavaan käyttäen joko LBT, tai WLAN CCA mekanismia.

## **2.8. Yhteenveto kehitetyistä ratkaisuista**

Esitellyt yhteiseloön kehitetyt menetelmät (CSAT, ABS, LBT, GBT, WizBee) mahdollistavat kommunikaatiomenetelmien yhteiselon lisensoimattomilla kaistoilla.

CSAT ja WizBee ovat taloudellisesta, sekä teknisestä näkökulmasta katsottuna hyviä menetelmiä yhteiselon saavuttamiseksi, sillä ne voidaan toteuttaa ilman suurempia muutoksia käyttämiinsä kommunikaatiomenetelmiin, esimerkiksi CSAT:n käyttämä jaksotus (DC) löytyy valmiiksi LTE:n rakenteesta. Lisäksi tämä säästää CSAT:n ja WizBee:n pystyttämiseen tarvittavia kuluja.

LBT ja ABS ovat rakenteeltaan monimutkaisempia verrattuna CSAT tai WizBee. LBT ja ABS kuitenkin mahdollistavat suurempien solujen yhteiselon pienempien solujen kanssa, kuten LTE ja Wi-Fi välinen yhteiselo, kun taas CSAT ja WizBee ovat suunnattu pienempien solujen yhteiselolle (ZigBee ja Wi-Fi).



### 3. YHTEENVETO

Tässä työssä on esitelty kommunikaatiomenetelmien välillä olevia yhteiselo-ongelmia ja yhteiselon mahdollistamiseen kehitettyjä menetelmiä niin lisensoitujen ja lisensoimattomien kaistojen välillä, kuin myös lisensoimattomien kaistojen sisällä. Kommunikaatiomenetelmien yhteiseloon kehitetyt menetelmät esitellään ja kunkin menetelmän toimintaperiaatteet käydään läpi.

Lopputuloksena voidaan todeta, että yhteiseloon kehitetyt menetelmät ovat kuitenkin kompromisseja eri kommunikaatiomenetelmien välillä, jonka takia suuressa osassa tapauksista joko kokonaiskattavuutta, tai nopeutta uhrataan sujuvan yhteiselon saavuttamiseksi. Edelleen sujuvamman yhteiselon saavuttamiseksi jatkotutkimuksia aiheeseen liittyen tarvitaan.

Lisäksi olisi syytä tutkia erilaisten yhteiseloon kehitettyjen ratkaisujen yhteistyöstä, esimerkiksi pystyisikö ABS:ssä esiintyvää LTE viivettä pienentämään käyttämällä ABS yhdessä CSAT tai LBT kanssa.

#### 4. LÄHTEET

- [1] H. Zhang, X. Chu, W. Guo and S. Wang, "Coexistence of Wi-Fi and heterogeneous small cell networks sharing unlicensed spectrum," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, no. 3, pp. 158-164, March 2015.
- [2] B. Chen, C. Lin and Z. Tsai, "A wide-band matching network using SIR concept applying on amplifier for LTE/ISM/Wi-Fi/Bluetooth application," 2015 IEEE MTT-S 2015 International Microwave Workshop Series on RF and Wireless Technologies for Biomedical and Healthcare Applications (IMWS-BIO), Taipei, 2015, pp. 246-247.
- [3] M. Chernyshev, Z. Baig, O. Bello and S. Zeadally, "Internet of Things (IoT): Research, Simulators, and Testbeds," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol.5, no. 3, pp. 1637-1647, June 2018.
- [4] G. Naik, J. Liu and J. J. Park, "Coexistence of Wireless Technologies in the 5 GHz Bands: A Survey of Existing Solutions and a Roadmap for Future Research," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1777-1798, third quarter 2018.
- [5] S. Lien, C. Chien, H. Tsai, Y. Liang and D. I. Kim, "Configurable 3GPP Licensed Assisted Access to Unlicensed Spectrum," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 6, pp. 32-39, December 2016.
- [6] N. V. R. Kumar, C. Bhuvana and S. Anushya, "Comparison of ZigBee and Bluetooth wireless technologies-survey," 2017 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES), Chennai, 2017, pp. 1-4.
- [7] IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications 29 March 2012.
- [8] C. F. Chiasserini and R. R. Rao, "Performance of IEEE 802.11 WLANs in a Bluetooth environment," 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Conference Record (Cat. No.00TH8540), Chicago, IL, 2000, pp. 94-99 vol.1.
- [9] C. Chen, R. Ratasuk and A. Ghosh, "Downlink Performance Analysis of LTE and WiFi Coexistence in Unlicensed Bands with a Simple Listen-Before-Talk Scheme," 2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Glasgow, 2015, pp. 1-5.
- [10] B. C. Chung and D. Cho, "Mobile Data Offloading With Almost Blank Subframe in LTE-LAA and Wi-Fi Coexisting Networks Based on Coalition Game," in *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 3, pp. 608-611, March 2017.
- [11] Y. Song, K. W. Sung and Y. Han, "Coexistence of Wi-Fi and Cellular With Listen-Before-Talk in Unlicensed Spectrum," in *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 1, pp. 161-164, Jan. 2016.

- [12] P. Xia, Z. Teng and J. Wu, "How loud to talk and how hard to listen-before-talk in unlicensed LTE," 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW), London, 2015, pp. 2314-2319.
- [13] Y. Huang, Y. Chen, Y. T. Hou and W. Lou, "CURT: A Real-Time Scheduling Algorithm for Coexistence of LTE and Wi-Fi in Unlicensed Spectrum," 2018 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), Seoul, 2018, pp. 1-9.
- [14] M. Choi and J. Kim, "A design of real-time traffic sensitive CSAT access control frame for unlicensed LTE operations," 2016 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC), Jeju, 2016, pp. 982-985.
- [15] J. Kim, W. Jeon, K. Park and J. P. Choi, "Coexistence of Full-Duplex-Based IEEE 802.15.4 and IEEE 802.11," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 12, pp. 5389-5399, Dec. 2018.
- [16] Y. Yan et al., "WizBee: Wise ZigBee Coexistence via Interference Cancellation with Single Antenna," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 14, no. 12, pp. 2590-2603, 1 Dec. 2015.
- [17] O. Carhacioglu, P. Zand and M. Nabi, "Time-domain cooperative coexistence of BLE and IEEE 802.15.4 networks," 2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, QC, 2017, pp. 1-7.
- [18] M. Salem and A. Maaref, "A MAC solution for distributed coordination of 5G LAA operator networks and fair coexistence with WLAN in unlicensed spectrum," 2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Doha, 2016, pp. 1-7.